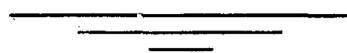


04454

P. ALMÉRAS
Ingénieur aux Ateliers Neyrpic
Professeur à l'École des Ingénieurs Hydrauliciens de Grenoble.

Georges YERANTONIS
Ing. - Hydraulicien (E.I.H.)

QUELQUES PROBLÈMES POSÉS PAR LE REMPLISSAGE DES ÉCLUSES DE NAVIGATION



EXTRAIT DE
LA HOUILLE BLANCHE
NUMÉRO 5 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 1948
23. GRANDE-RUE. GRENOBLE

QUELQUES PROBLÈMES POSÉS PAR LE REMPLISSAGE DES ÉCLUSES DE NAVIGATION⁽¹⁾

par **P. ALMÉRAS**

Ingénieur aux Ateliers NEYRPIC
Professeur à l'Ecole des Ingénieurs Hydrauliciens de Grenoble

Durant les dernières décades, un très grand nombre de canaux à grand trafic ont été construits dans le monde.

Le principal problème à résoudre était d'augmenter au maximum le trafic au prix du minimum de dépenses. Pour ce faire, on peut diminuer le temps d'éclusée ; un des moyens de diminuer ce temps est évidemment d'augmenter la vitesse de remplissage du sas d'écluse, ceci sans causer de remous susceptibles d'entraîner des dommages aux bateaux mal amarrés, et parfois aux portes mêmes de l'écluse.

Dans ce but, de nombreux et importants essais sur modèle ont été effectués, mais nous devons constater que leurs résultats ont conduit à des solutions coûteuses aboutissant pourtant à des réalisations peu satisfaisantes.

L'objet de cet article est précisément d'examiner ces échecs partiels, d'en dégager d'abord des enseignements pour notre problème et d'en tirer ensuite des conclusions d'une portée plus générale pour les travaux de recherche.

Mais avant d'aborder le fond de notre sujet, voyons un peu le problème du trafic des écluses dans sa généralité.

Pour augmenter le trafic au passage d'une écluse, on peut évidemment la doubler, mais cette solution est coûteuse.

Le problème est précisément d'augmenter le trafic sans augmenter le prix de revient de l'installation.

Il est donc intéressant, pour une écluse de capacité donnée, de réduire le temps de passage des bateaux dans l'écluse. Ce temps de passage d'un bateau est évidemment fonction du temps qu'il met à entrer dans l'écluse à partir du moment où elle peut le recevoir, du temps de remplissage ou de vidange du sas, et des temps

de manœuvre d'ouverture et de fermeture des portes.

Pour que ce temps soit réduit, il y a intérêt :

1° à ce que les bateaux qui attendent leur tour de passage puissent se placer, sans risque, le plus près possible de l'écluse en fonctionnement, afin de ne pas perdre de temps lorsque l'écluse sera prête à les recevoir : ceci pose des problèmes de dissipation de l'énergie de l'eau de vidange de l'écluse et d'écoulement de l'eau à ses abords, ainsi que des problèmes de propagation d'ondes de translation dans les canaux ;

2° à ce que le temps de remplissage ou de vidange de l'écluse soit le plus réduit possible ;

3° à ce que les manœuvres des portes (ouverture et fermeture) soient les plus rapides possible.

Cependant, il est certain qu'il n'y a aucun intérêt à rendre très petit un des temps dont est fonction le temps global de passage, si on ne diminue pas d'une manière analogue les autres temps. Sinon, on s'expose à se donner beaucoup de mal pour un très faible gain global.

Les deux premières conditions sont dominées par des questions d'hydraulique, alors que la troisième soulève des problèmes d'ordre mécanique.

Dans cette étude, nous nous limiterons aux problèmes soulevés par la deuxième condition. Comment raccourcir le temps de remplissage ou de vidange ?

Le plus communément, dans les écluses importantes, le sas est mis en communication par des aqueducs munis de vannes, soit avec le bief

(1) Une partie de cet article a fait l'objet d'une communication au Congrès International de Mécanique Appliquée, Paris, 1946.

amont — pour le remplissage — soit avec le bief — pour la vidange. —

Nous allons passer en revue les considérations qui limitent la vitesse de remplissage ou de vidange d'un sas :

1° Il y a d'abord les dimensions mêmes des aqueducs. Plus elles seront grandes, plus leur débit sera grand et plus, par conséquent, ces temps seront raccourcis. Mais aussi, l'existence de gros aqueducs affaiblira les pieds droits de l'écluse et augmentera le prix de sa construction.

Pratiquement, le diamètre des aqueducs ne peut pas dépasser un certain diamètre économique. Au delà de ce diamètre, toute augmentation de diamètre entraîne une dépense hors de proportion avec le gain de temps éventuellement réalisable.

Par ailleurs, nous allons voir que des difficultés d'ordre hydraulique apparaissent, qui rendent en fait ce gain irréalisable par ce procédé.

2° Lorsqu'il se produit une variation de débit à l'extrémité d'un canal, celle-ci donne lieu, dans ce canal, à une onde positive ou négative qui se propage dans le canal.

C'est précisément ce qui se passe lors de la vidange (ou le remplissage) d'une écluse, dans le bief aval (ou le bief amont) et ceci peut gêner la navigation.

Cet inconvénient peut entraîner une grande perte de temps lorsque l'on a affaire à un canal dont la largeur est du même ordre de grandeur que celle de l'écluse. Cependant, dans de nombreux cas : écluses en rivière, écluses de bassins à flot ou écluses comportant un « bassin d'épargne » (1), cette limitation reste au contraire pratiquement inexistante.

3° Lors du remplissage du sas de l'écluse, l'énergie de l'eau venant du bief amont sous une certaine chute se dissipe sous forme de remous et mouvements tumultueux à l'intérieur de l'écluse ; d'autre part, l'alimentation de l'écluse étant plus ou moins inégalement répartie le long du sas, il peut se produire des balancements du plan d'eau de l'écluse.

Ceci a pour effet d'obliger les bateaux à s'amarrer soigneusement pendant leur passage dans le sas ; il en résulte une perte de temps dont il faut tenir compte.

Toutes ces considérations ne sont évidemment pas indépendantes, elles réagissent les unes sur les autres, et comme toujours la solution adoptée est une solution de compromis.

Ces considérations sont justiciables soit du calcul, soit du modèle réduit.

Nous parlerons, dans cet article, de la dernière considération (n° 3) et plus précisément, du problème de l'alimentation d'un sas lors d'un remplissage, de manière à éviter les balancements du plan d'eau de l'écluse.

Le problème essentiel à résoudre est donc le suivant :

Alimenter le sas d'une écluse à l'aide d'un ou de plusieurs aqueducs provenant du bief amont, de manière que cette alimentation soit également répartie le long du sas.

Très souvent, le schéma d'alimentation d'une écluse est le suivant : deux aqueducs cylindriques, courant de chaque côté le long du sas, partent du bief amont et aboutissent au bief aval (figure 1).

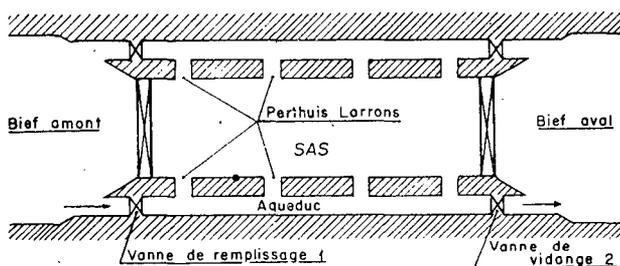


Fig. 1

Schéma d'une écluse

Sur ces deux aqueducs, sont « piqués » des pertuis dits « larrons » débouchant dans le sas. Deux vannes placées aux deux extrémités de chaque aqueduc permettent d'isoler le sas, soit de l'amont, soit de l'aval, de manière à permettre la vidange ou le remplissage du sas.

Supposons que les pertuis soient identiques et également espacés, et considérons le remplissage du sas (vanne 1 ouverte, vanne 2 fermée). Pour voir ce qui se passe, schématisons par la fig. 2.

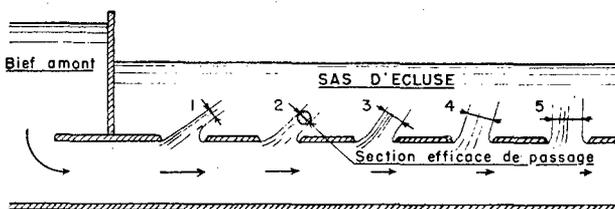


Fig. 2

Les débits d'orifices identiques augmentent de l'amont à l'aval

(1) On appelle « bassin d'épargne » un bassin assurant une réserve d'eau qui permet une réduction de l'appel d'eau à l'amont et du rejet d'eau à l'aval.

Supposons que les pertuis d'alimentation du sas soient de simples orifices identiques percés dans la paroi de l'aqueduc. On voit déjà que la vitesse de l'eau dans l'aqueduc étant au droit des pertuis amont plus grande qu'au droit des pertuis aval, les jets qui sortent des pertuis amont seront plus inclinés sur l'aqueduc que ceux sortant des pertuis aval ; par suite, les sections efficaces des pertuis seront plus grandes à l'aval qu'à l'amont.

Si donc la charge est la même au droit de chaque orifice (c'est-à-dire si on néglige les pertes de charge dans l'aqueduc), les débits des orifices iront en croissant de l'amont vers l'aval. Bien entendu, les pertes de charge qui existent réellement dans l'aqueduc agissent en diminuant le phénomène précédent puisque les orifices amont sont soumis à une charge plus grande que les orifices aval.

On peut faire une théorie assez approchée du phénomène de la manière suivante : on considère un aqueduc de section non pas circulaire, mais rectangulaire, avec des orifices tenant toute la longueur d'un côté du rectangle et tous de même épaisseur (figure 3).

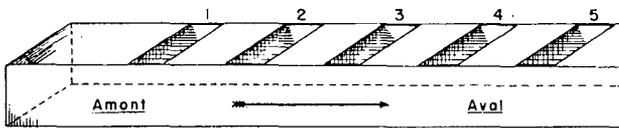


Fig. 3

Aqueduc et orifices de sections rectangulaires

On peut d'abord négliger les pertes de charge et considérer que l'on a affaire à un écoulement plan à potentiel des vitesses et ceci permet de calculer l'angle de chaque jet, et le coefficient de contraction de chaque jet, d'où la section de passage « efficace » de chaque orifice et, par suite, son débit.

On peut ensuite perfectionner cette théorie en évaluant les pertes de charge au droit de chaque pertuis et on arrive ainsi en bon accord avec des expériences faites sur modèle réduit, expériences qui sont d'ailleurs assez difficiles à réaliser si l'on veut se placer exactement dans les conditions théoriques.

Les résultats doivent ensuite être interprétés pour tenir compte du fait que, dans la réalité, les aqueducs ne sont pas en général rectangulaires.

Quoi qu'il en soit, dans une écluse ainsi ali-

mentée par un ou deux aqueducs munis de pertuis « larrons » équidistants et identiques, des portions égales de longueur du sas ne reçoivent pas des débits égaux ; des courants s'établissent donc de l'aval vers l'amont du sas pendant le remplissage, amorçant des balancements du plan d'eau, d'où nécessité d'amarrages sérieux des bateaux.

Une solution pour égaliser l'alimentation du sas sur toute sa longueur consisterait à augmenter la section de l'aqueduc ; on diminuerait ainsi les vitesses d'eau dans l'aqueduc et, par suite, l'influence de ces vitesses sur l'angle de sortie, donc sur le débit de chaque orifice.

Mais cette solution serait en général onéreuse.

Une autre solution consisterait à avoir des pertuis identiques inégalement espacés, ce qui a été fait quelquefois.

Enfin, et cela se fait plus communément, on emploie des orifices inégaux également espacés. La théorie esquissée ci-dessus permet de prévoir d'une manière approchée les dimensions à donner à chaque pertuis pour que leurs débits soient égaux. Mais il va sans dire que seul un modèle réduit est capable de donner la solution correcte, d'autant plus qu'il permet de résoudre du même coup les problèmes de dispersion de l'énergie de l'eau sortant de ces pertuis et de voir sur des maquettes de bateaux les effets du remplissage du sas de l'écluse à plus ou moins grande vitesse, avec différentes solutions d'alimentation du sas.

Il semblerait donc, d'après ce qui précède, qu'il est relativement facile de réaliser des orifices alimentant convenablement un sas d'écluse. Et pourtant, dans la pratique, les résultats n'ont pas toujours été satisfaisants.

Malgré toutes les précautions prises, même en donnant aux orifices des formes telles que leurs débits soient identiques, il arrive que le sas soit très inégalement alimenté, surtout au début du remplissage, de sorte que les mouvements d'eau qu'on veut éviter à l'intérieur du sas se produisent quand même.

Ainsi, on lit dans le « BULLETIN DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE DES CONGRÈS DE NAVIGATION » (Janvier 1948) que, dans une écluse du canal Albert, on ne voyait apparaître des remous au droit des orifices (indice que ceux-ci débitaient) que 17" après le début de levée des vannes, pour le premier groupe de pertuis amont, 31" pour le deuxième, 35" pour le troisième, 43" pour le

quatrième, 53'' pour le cinquième, 70'' pour le sixième.

On voit donc que même si les orifices ont été déterminés pour fournir des débits égaux en régime permanent, il n'en reste pas moins que les pertuis débitent en commençant par l'amont et que le temps au bout duquel les pertuis aval commencent à débiter est loin d'être négligeable. Il s'ensuit que, au début, la partie amont du sas est mieux alimentée que la partie aval, et ceci donne naissance à des ondes longitudinales dans le sas, d'où tangage des bateaux.

Nous avons alors cherché à expliquer théoriquement ce fait, pensant qu'un approfondissement de la physique de ce phénomène nous permettrait de dégager certaines idées directrices pour notre problème. Nous avons donc été amenés à étudier le cas schématique de la mise en régime d'une conduite débitant sous une chute constante dans un réservoir par plusieurs orifices.

Nous considérerons deux bassins amont et aval, de grandes dimensions, de manière que leurs niveaux restent constants.

1° Le premier cas à envisager est simplement celui d'une conduite de longueur L et de section S, débitant dans le bassin aval par un orifice de section « efficace » σ (fig. 4).

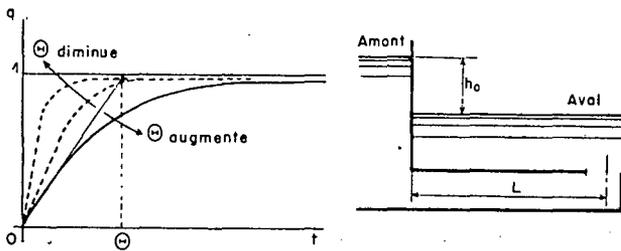


Fig. 4
Débit d'un orifice unique

La conduite est initialement obturée par une vanne.

- Soit h_0 la différence des niveaux,
- Q_0 le débit de l'orifice en régime permanent,
- Q le débit de l'orifice au temps t .

Au temps $t = 0$, on ouvre la vanne, instantanément.

L'équation différentielle qui régit le débit est :

$$\frac{L}{Sg} \frac{dQ}{dt} + \frac{Q^2}{2g \sigma^2} - h_0 = 0$$

en considérant l'eau comme un fluide incom-

pressible, ce qui est légitime lorsque la conduite n'est pas trop longue, ce qui est en général le cas dans les écluses, et en négligeant les pertes de charge.

Elle exprime simplement que la vitesse de sortie de l'eau de l'orifice est égale à la racine carrée de $2g$ fois la charge qui comprend la charge statique h_0 et la charge dynamique

$$\frac{Q}{L S} = \sqrt{g dt}$$

On a d'ailleurs entre les données h_0 , Q_0 et σ la relation : $Q_0 = \sigma \sqrt{2g h_0}$ par définition même de la section efficace σ de l'orifice.

Nous poserons :

$$q = \frac{Q}{Q_0} = \frac{\sigma \sqrt{2g h_0}}{\sigma \sqrt{2g h_0}} = \frac{L Q_0}{Sg H_0} \tau$$

avec $\Theta = \frac{L Q_0}{Sg H_0}$

q n'est autre que le débit rapporté au débit de régime permanent.

Θ est le temps caractéristique de l'inertie de la conduite (temps de mise en régime de la conduite : temps que met la conduite à débiter le débit Q_0 , sous la chute h_0 , à partir du repos).

On a alors :

$$\frac{dq}{d\tau} + q^2 - 1 = 0$$

qui s'intègre par :

$$q = \text{th} \frac{t}{\Theta} \quad (\text{figure 4})$$

ou :

$$\frac{Q}{Q_0} = \text{th} \frac{t}{\Theta} = \text{th} \frac{L Q_0}{Sg h_0} \tau$$

Le débit de l'orifice augmente d'une manière appréciable dès le début. Initialement, $dq/d\tau = 1$, donc $dq/dt = 1/\Theta$. La tangente à l'origine a pour pente 1 si on a porté en abscisse τ et $1/\Theta$ si on a porté t (figure 4).

Si la longueur L de la conduite diminue, Θ tend vers zéro, la pente à l'origine augmente, les courbes $q(t)$ se déplacent dans le sens de la flèche (courbes en pointillé sur la figure 4).

Lorsque $L = 0$ (orifice tout près du bief amont) $\Theta = 0$ et la courbe $q(t)$ n'est autre évidemment que :

$$q = 1 \text{ ou } Q = Q_0$$

le régime permanent étant établi instantanément.

2° Considérons sur la conduite deux orifices : l'un situé complètement à l'amont ($L = 0$) et l'autre à l'aval ($L = L$). Ces deux orifices sont tels que leurs débits de régime sont égaux à Q_0 , c'est-à-dire que leurs sections efficaces sont les mêmes (σ).

$$\text{On a toujours : } Q_0 = \sigma \sqrt{2g h_0}$$

Soient Q_1 et Q_2 les débits des deux orifices au temps t .

$$\text{Posons : } q_1 = \frac{Q_1}{Q_0} \text{ et } q_2 = \frac{Q_2}{Q_0}$$

Pour l'orifice 1, on a, d'après ce que nous venons de voir :

$$q_1 = 1 \text{ ou } Q_1 = Q_0$$

Pour l'orifice 2, on a :

$$q_2 = th \frac{t}{LQ} \text{ (figure 5)}$$

$$\frac{LQ}{Sgh_0}$$

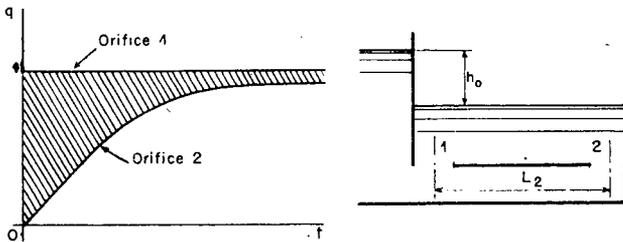


Fig. 5

Débits des orifices 1 et 2, l'orifice 1 étant placé immédiatement à l'entrée

L'aire hachurée sur la figure 5 donne le volume débité en excès par l'orifice amont pendant l'établissement du régime.

3° Nous supposons maintenant deux orifices situés respectivement à des distances L_1 et $L_1 + L_2$ de l'entrée amont (figure 6) et dimensionnés de manière à avoir des débits égaux, en régime permanent (donc de même section efficace).

On écrit, en négligeant les pertes de charge (notamment au droit de l'orifice 1) :

$$\frac{L_1}{g S h_0} \frac{d(Q_1 + Q_2)}{dt} = 1 - \frac{Q_1^2}{Q_0^2}$$

$$\text{et ; } \frac{L_1}{g S h_0} \frac{d(Q_1 + Q_2)}{dt} + \frac{L_2}{g S h_0} \frac{dQ_2}{dt} = 1 - \frac{Q_2^2}{Q_0^2}$$

$$\text{ou en posant : } q_1 = \frac{Q_1}{Q_0} \text{ et } q_2 = \frac{Q_2}{Q_0}$$

$$\frac{L_1 Q_0}{S g h_0} = \Theta_1 \text{ et } \frac{L_2 Q_0}{S g h_0} = \Theta_2$$

$$\text{il vient : } \Theta_2 \frac{dq_2}{dt} = q_1^2 - q_2^2$$

$$\Theta_1 \frac{dq_1}{dt} = 1 - q_1^2 - \frac{\Theta_1}{\Theta_2} (q_1^2 - q_2^2)$$

Ces équations s'intègrent graphiquement par la méthode pas à pas, c'est-à-dire en prenant des intervalles de temps assez petits et en supposant que pendant un tel intervalle, les valeurs de

$q_1, q_2 \frac{dq_1}{dt}, \frac{dq_2}{dt}$ soient égales à leur valeur

moyenne pendant cet intervalle. Chaque point est ainsi obtenu par approximations successives et on arrive aux courbes $q_1(t)$ et $q_2(t)$ représentées par la figure 6.

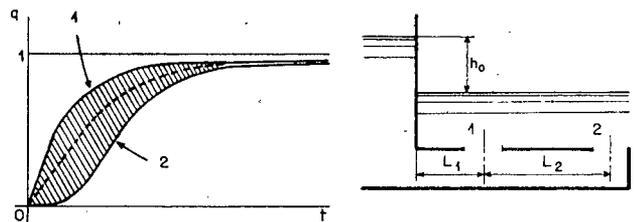


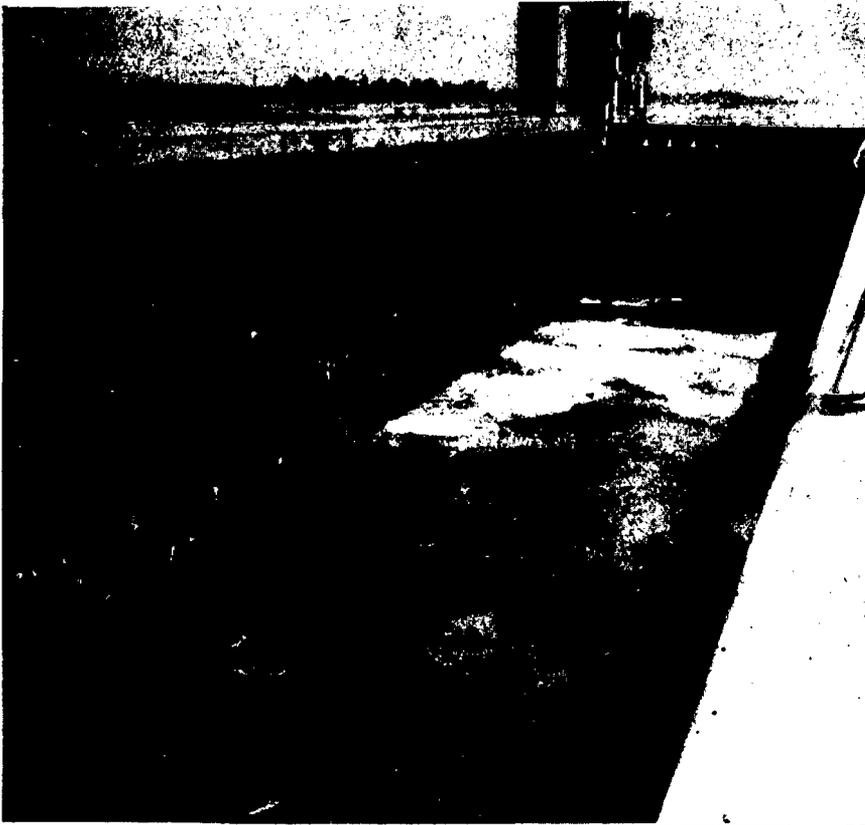
Fig. 6

Débits des orifices 1 et 2 situés à des distances L_1 et $L = L_1 + L_2$ de l'entrée

Il est curieux de remarquer que pratiquement, le débit du deuxième orifice ne commence à augmenter vraiment que lorsque le débit du premier orifice cesse d'augmenter rapidement.

L'aire hachurée sur la figure 6 représente le volume débité en excès par l'orifice 1 pendant l'établissement du régime.

Si nous considérons par exemple un aqueduc muni d'un orifice (2) à une distance L de l'entrée, son débit suivra, en fonction du temps, la courbe en pointillés de la figure 6, c'est-à-dire qu'il augmentera rapidement dès le début ($t = 0$).



Ces clichés ont été pris au cours du remplissage d'une grande écluse. Les deux premiers représentent la partie amont du sas : on voit très nettement que les larrons débitent l'un après l'autre, de l'amont vers l'aval.



Sur le troisième cliché, les larrons de l'extrémité aval ont commencé à débiter depuis peu.



Perçons, sur cet aqueduc, un deuxième orifice (1) à une distance L_1 de l'entrée, le débit de ce dernier orifice augmente suivant la courbe 1 de la même figure, de la même forme que la courbe en pointillés, mais débutant avec une tangente à l'origine plus inclinée, puisque $L_1 < L$; quant au débit de l'autre orifice (à la distance L), qui suivait la courbe en pointillés lorsque l'orifice amont n'existait pas, il suit maintenant la courbe 2. **La présence d'un orifice à l'amont d'un orifice donne retardé l'arrivée du débit à cet orifice.**

On peut répéter la théorie et intégrer les équations, graphiquement, pour plusieurs orifices, le résultat est toujours le même et se résume dans le fait suivant : les orifices « attendent » leur tour pour débiter, leur débit n'augmentant vraiment que lorsque celui de l'orifice situé immédiatement à l'amont a cessé lui-même pratiquement d'augmenter. Toutefois, à mesure que le nombre des orifices augmente, le phénomène devient moins net, et ce n'est que pour les 2 ou 3 premiers orifices qu'on peut réellement affirmer ce qui précède. Pour les autres, les courbes ont l'allure indiquée dans la figure 7.

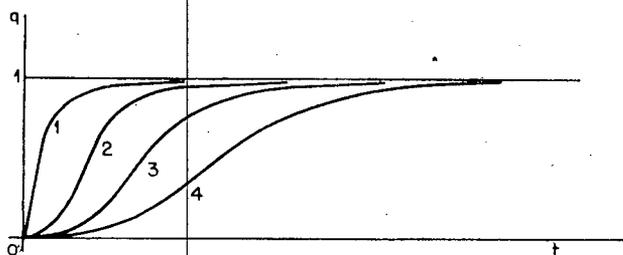


Fig. 7
Cas des 4 orifices

Si on applique ce calcul au cas d'une écluse, on voit que l'effet analysé ci-dessus suffit à provoquer des courants et des balancements violents du plan d'eau au début du remplissage.

Remarquons aussi que le fait d'égaliser les débits des orifices en régime permanent a conduit à augmenter les dimensions des orifices les plus en amont, et ceci aggrave le défaut ci-dessus en accentuant le déséquilibre entre les débits orifices amont et aval dans la période d'établissement du régime : ainsi, en voulant égaliser les débits des orifices, on a rendu ces débits encore plus différents au début du remplissage.

Autre remarque encore, nous avons supposé que les débits des orifices en régime permanent

étaient égaux, et nous avons traduit ce fait en disant que tous ces orifices avaient même section efficace ; nous avons supposé ensuite au cours du calcul que chaque orifice avait cette section de passage σ pendant l'établissement du régime. Or, ceci n'est qu'une approximation grossière : le coefficient de contraction d'un orifice dépend notamment du rapport entre le débit sortant par l'orifice et le débit de la conduite elle-même en amont de l'orifice. Par exemple, si nous avons trois orifices piqués sur une conduite, tous les trois dimensionnés de manière à avoir le même débit de régime permanent, le rapport des débits de régime est de 1/3 pour le premier orifice amont, ce qui donne un coefficient de contraction d'une certaine valeur. Mais à l'instant initial, la partie de conduite à l'aval du premier orifice forme « bouchon » et le rapport des débits est 1/1, ce qui correspond à une contraction moindre que pour le rapport 1/3, donc à un coefficient plus grand. Le premier orifice aura donc au début du phénomène une surface efficace supérieure à σ , ce qui accentue encore le déséquilibre initial des débits.

Cet inconvénient de l'inégalité des débits en période d'établissement de régime est si gênant dans certains cas qu'on a souvent préféré perdre l'avantage de l'égalité des débits en régime permanent pour le diminuer. On a réalisé en particulier des sas d'écluses alimentés seulement par la région médiane du sas (le tiers médian) et qui donnaient partiellement satisfaction.

Mais la vraie solution consiste à s'arranger pour alimenter chaque orifice le plus symétriquement possible et on arrive ainsi à des solutions du genre de celle de la figure 8.

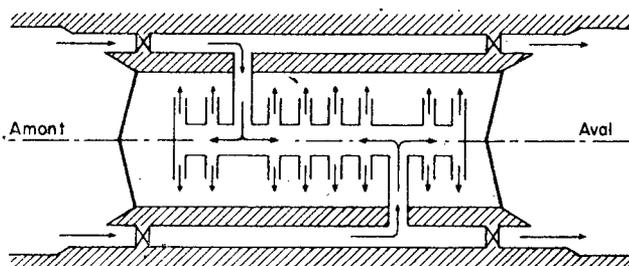


Fig. 8
Ecluse d'alimentation à peu près symétrique

On voit par là que le problème est assez compliqué lorsqu'il a pour objet des écluses destinées à avoir un gros trafic. C'est pourquoi les calculs étant le plus souvent seulement capables de donner une représentation très grossièrement

approchée des phénomènes qui se passent, on est obligé d'avoir recours au modèle réduit « machine à résoudre les équations différentielles les plus compliquées ».

L'exposé de cette théorie nous permet donc de conclure que la solution la plus communément employée pour l'alimentation du sas — aqueducs latéraux sur lesquels sont piqués des aqueducs « larrons » — est incapable de résoudre le problème. On est obligé de remplacer les « larrons » par des dispositifs qui permettent de concilier les deux desiderata : alimenter d'une manière également répartie le sas, aussi bien en régime permanent que pendant la période d'établissement du régime.

Cette étude assez simple est pourtant riche de plus d'un enseignement. Sur le plan de la recherche, d'abord elle montre qu'il ne faut pas s'obstiner toujours dans la même voie ; les difficultés rencontrées par certains doivent attirer notre attention, mais il convient d'éviter de suivre la trace de nos prédécesseurs quand ils ont échoué, sans oublier cependant de tirer une leçon de leur échec.

Sur le plan scientifique ensuite, elle confirme l'intérêt d'une théorie qui, sans prétendre atteindre à la vérité, permet du moins de s'en approcher par degré. Dans notre cas, par exemple, il est curieux de constater comment, grâce au jeu de l'inertie de l'eau, les orifices, échelonnés sur un aqueduc, prennent ainsi leur tour, attendant pour débiter que le précédent ait presque atteint son régime, ce qui fait qu'en définitive, le temps de mise en régime du dernier orifice peut être beaucoup plus long que si les orifices qui le précédent n'existaient pas. Ce phénomène est assez

analogue à celui qui se passe lorsqu'on a une série de bassins en cascade (figure 9) communiquant soit par des orifices, soit par des déversoirs. Lorsqu'on part d'un régime permanent, si pour une raison quelconque, le débit d'entrée varie brusquement, les niveaux des différents bassins ne commencent à varier que lorsque le niveau du bassin précédent a presque atteint sa nouvelle valeur de régime.

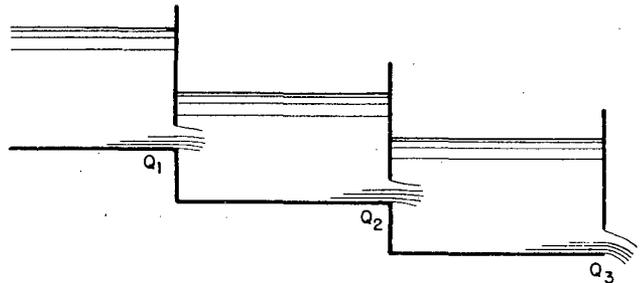


Fig. 9

Bassins en cascade

Sur le plan expérimental enfin, cette théorie donne des directives précieuses pour les essais à entreprendre. L'exemple des différentes écluses que nous avons projetées suivant les principes dégagés par notre étude, nous a montré que certains dispositifs, ne réalisant pourtant que grossièrement la condition de disposition symétrique des pertuis, permettent des vitesses de remplissage d'un sas deux ou trois fois plus grandes que les vitesses habituelles et rendent parfois même inutile l'amarrage des bateaux. Dès lors, les écluses reprennent un avantage du point de vue économique sur les ascenseurs hydrauliques qui semblaient leur être préférés dans le cas des canaux à grand trafic.